مجله به‌زراعی نهال و بذر
جلد ۲-۳۲، شماره ۱، سال ۱۳۹۵

# ارزیابی عملکرد دانه ارقام و لاین‌های امیدبخش سورگوم دانه‌ای [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

# Evaluation of Grain Yield of Cultivars and Promising Lines of Grain Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] Using of Drought Tolerance Indices

عظیم خزائی[۱]، عاطفه صبوری[۲]، زهرا السادات شبر[۳] و مریم شهبازی[۴]

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت
۳ و ۴- استادیار، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

**تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۵/۲۱**

## چکیده

**خزائی، ع.، صبوری، ع.، شبر، ز. و شهبازی، م. ۱۳۹۵.** ارزیابی عملکرد دانه ارقام و لاین‌های امیدبخش سورگوم دانه‌ای [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی. **مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲-۳۲:** ۱۱۸- ۹۹.

**به منظور بررسی تحمل به خشکی ارقام و لاین‌های امید بخش سورگوم دانه‌ای، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در دو سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ اجرا شد. تیمار آبیاری به عنوان عامل اصلی در سه سطح آبیاری معمول یا بدون تنش (آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A)، تنش ملایم (آبیاری معمول تا زمان گل‌دهی و بعد از گل‌دهی آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک) و تنش شدید (قطع آبیاری بعد از گل‌دهی) و ژنوتیپ‌ها به عنوان عامل فرعی در پنج سطح شامل ارقام کیمیا و سپیده و لاین‌های امیدبخش KGS15، KGS23 و KGS32 بودند. تجزیه واریانس مرکب نشان داد وزن علوفه تر، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در سطوح مختلف آبیاری و همچنین ارقام و لاین‌ها از نظر تمام صفات در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار داشتند. براساس شاخص‌های تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، لاین KGS23 و رقم کیمیا در کلیه شرایط آبیاری عملکرد دانه بالاتر از میانگین داشتند. این دو ژنوتیپ با بالاترین مقدار STI در نمودار بای‌پلات در ناحیه با پتانسیل تولید بالا و حساسیت به خشکی پایین قرار گرفتند. نتایج حاصله از نمودار چند متغیره بای پلات و همبستگی شاخص‌ها با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش نشان داد شاخص‌های MP، GMP و STI نسبت به سایر شاخص‌ها در پیش بینی عملکرد از اهمیت بالایی برخودار بودند و با این شاخص‌ها می‌توان ژنوتیپ‌های متحمل را بهترگزینش کرد.**

**واژه‌های کلیدی: سورگوم دانه‌ای، شاخص‌های تحمل به تنش، عملکرد دانه، بای‌پلات.**

---

نویسنده مسئول: atefeh_sabouri@yahoo.com تلفن: ۰۹۱۱۳۴۱۱۴۹۶

**مقدمه**

یکی از راهکارهای ارائه شده در زمینه بهبود مدیریت راندمان آبیاری، حصول عملکرد مناسب با توجه به حداکثر راندمان بهره‌برداری از آب آبیاری است (Rahnama, 2003). در این راستا شناخت ارتباط کمبود آب خاک با رشد محصولات، بررسی واکنش فیزیولوژیکی در ارتباط با تنش، کشت گیاهان متحمل و سایر مواردی که امکان توسعه هر چه بیشتر گیاهان مناطق خشک و نیمه خشک را فراهم می‌کنند مفید و مطلوب خواهد بود (Kardovani, 1997). میزان کم نزولات آسمانی و پراکنش نامنظم آن باعث بروز تنش خشکی در طول دوره رشد گیاهان زراعی می‌شود. تنش خشکی بر فرآیندهای متعددی در گیاه اثر می‌گذارد، در وهله اول کمبود آب سبب کاهش رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Yadav *et al.*, 1999). عملکرد گیاهان زراعی تحت تأثیر شرایط محیطی، ساختار ژنتیکی و اثر متقابل آن‌ها است. اگر چه همه تنش‌های زنده و غیر زنده از عوامل مهم کاهش تولید محسوب می‌شوند، مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد گیاهان آب است و از آن‌جا که بخش اعظم اراضی ایران در نواحی خشک و نیمه خشک قرار دارد، تعیین تحمل نسبی به خشکی در گیاهان زراعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Chassemi *et al.*, 1995). سورگوم با توجه به خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی منحصر به فردی که دارد به عنوان شاخص گیاهان زراعی مقاوم به خشکی معرفی شده است و نسبت به سایر گیاهان زراعی در شرایط گرم و دشوار آبیاری مقاوم‌تر بوده و نیاز آبی کمتری دارد (Ehdaei, 2004). سطح زیر کشت سورگوم در جهان حدود ۴۲/۴ میلیون هکتار است که ۹۰ درصد این سطح زیر کشت را ارقام دانه‌ای به خود اختصاص داده است (Anonymous, 2013). بنابراین سورگوم در دنیا در درجه اول به عنوان یک غله مطرح است. هندوستان با سطح زیر کشت حدود ۹ میلیون هکتار در مقام اول قرار دارد و ایالات متحده آمریکا با سطح زیر کشت حدود ۳ میلیون هکتار بیشترین محصول در جهان را تولید می‌کند. سطح زیر کشت سورگوم در ایران ۴۳ هزار هکتار است (Anonymous, 2013). سورگوم با برخورداری از صفاتی همانند روزنه‌های کوچک، قابلیت خود پیچی برگ‌ها، کنترل روزنه‌ها و غیره سازگاری بالایی به طیف وسیعی از شرایط اکولوژیکی در مقایسه با سایر گیاهان زراعی دارد (Nour- Mohamadi *et al.*, 2007). اثر خشکی بر عملکرد و درآمد نهایی زارع کاملاً شناخته شده است. اغلب گیاهان زراعی به ویژه در دوره گل‌دهی تا نمو بذر به تنش کمبود آب حساسند، حتی گیاهانی مانند ارزن دم‌روباهی، سورگوم و لوبیا چشم بلبلی نیز که در نواحی خشک و نیمه خشک کشت می‌شوند در مرحله زایشی تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند.

در کشاورزی، مقاومت به خشکی عبارت است از توانایی یک گیاه زراعی برای تولید محصول اقتصادی با حداقل کاهش عملکرد در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش (Mitra, 2001). عملکرد دانه یکی از مهم‌ترین صفات گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی است و در اصلاح نباتات، تولید ژنوتیپ‌هایی با پتانسل تولید بالا در شرایط خشکی و به طور همزمان در شرایط آبیاری مناسب یک هدف است، بنابراین گزینش برای صفات تحمل به خشکی بدون در نظر گرفتن عملکرد نتیجه چندانی نخواهد داشت. یکی از مسائل مهم در ارزیابی ارقام برای مقاومت به خشکی، اندازه‌گیری کمی معیارهای مقاومت به خشکی است (Clarke and McCaig, 1982). این شاخص‌ها عملکرد گیاه را در دو محیط تنش و غیر تنش مشخص می‌کنند. با استفاده از داده های دو تیمار آبی به‌نژادگران می‌توانند با محاسبه شاخص شدت تنش آزمایش و اختلاف حساسیت‌ها برای کمک کردن به گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی استفاده کنند. تنش خشکی قبل و در زمان گل‌دهی در ژنوتیپ‌های حساس منجر به لوله شدن برگ، تأخیر در گلدهی، عقیم شدن گلچه‌ها، کاهش اندازه پانیکول ، تعدا دانه در پانیکول و کاهش ارتفاع می‌شود. در تنش خشکی پس از گل‌دهی، مرگ زودرس ساقه و برگ‌ها و نیز کاهش وزن دانه‌ها در ژنوتیپ‌های حساس رخ می‌دهد (Amjad Ali *et al*., 2009). تنش خشکی در مرحله رشد زایشی و در سه مرحله پیدایش و تشگیل گل، گرده‌افشانی و لقاح و پرشدن دانه‌ها اثر متفاوتی را بر اجزاء عملکرد موجب می‌شود. در این راستا مظفری و همکاران (Mozafari *et al*., 1996) در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که وزن هزار دانه در بین سایر صفات مرتبط با عملکرد در قبال تنش خشکی ثبات بیشتری داشت. مظاهری لقب و همکاران (Mazaherilaghab *et al*., 2001) علت این امر را به این صورت توجیه کردند که آبیاری در مرحله گل‌دهی برباروری گلچه‌ها و افزایش تعداد دانه‌ها تأثیر دارد، در حالی‌که در مرحله دانه‌بندی، آبیاری بر افزایش اندوخته غذایی و پر شدن دانه‌ها و در نتیجه افزایش وزن آن‌ها تأثیر می‌گذارد. نارشیما رائو و شیوراج (Narshiva Rao and Shivraj, 1998) گزارش کردند که تنش خشکی بعد از گرده‌افشانی در سورگوم دانه‌ای سبب کاهش طول دوره پر شدن دانه شد. همچنین در این مطالعه افزایش اندازه دانه ناشی از کاهش تعداد دانه در خوشه بیان شده است. هاسمن و همکاران (Hussman *et al*., 1998) نیز اظهار داشتند تنش آبی در اوایل گرده‌افشانی باعث کاهش شدید عملکرد می‌شود.

امجد علی و همکاران (Amjad Ali *et al*., 2009) به بررسی معیارهای موثر در تحمل ده ژنوتیپ سورگوم به تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای و بعد از مرحله گل‌دهی پرداختند و بیان داشتند که بین

ژنوتیپ‌ها از نظر همه صفات مورفو- فیزیولوژیکی مورد بررسی مانند وزن خشک ریشه، طول ریشه، طول کلئوپتیل، نسبت ریشه به ساقه، سطح برگ پرچم، شاخص سطح و وزن برگ پرچم، ماده خشک برگ، محتوی نسبی آب، پایداری غشاء سلولی و عملکرد دانه در هربوته تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت. استفاده از صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی دارای توارث‌پذیری بالا که درعملکرد مؤثر هستند در ارزیابی تحمل به خشکی اهمیت بیشتری دارند ولی در هر صورت، عملکرد دانه به عنوان یک شاخص مهم در ارزیابی پاسخ گیاهان به تنش‌های محیطی است. بسیاری از آزمایش‌های مربوط به ارزیابی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های یک گیاه عموماً در دو شرایط تنش و بدون تنش اجرا می‌شوند. هدف اصلی این گونه آزمایش‌ها انتخاب ژنوتیپ‌هایی است که به هر دو شرایط فوق سازگار باشند (Fernandez, 1992). ارقام و لاین‌های مورد مطالعه در این آزمایش طی سال‌های گذشته در شرایط آبیاری معمولی در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج اصلاح شده‌اند. دراین تحقیق سعی شده تحمل به تنش کمبود آب در تعدادی از این ارقام و لاین‌های امید بخش سورگوم دانه‌ای مورد ارزیابی قرار گیرد و ارقام و یا لاین‌های سورگوم دانه‌ای با عملکرد بالا و متحمل به خشکی شناسائی شوند.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور ارزیابی عملکرد دانه ارقام و لاین‌های امیدبخش سورگوم دانه‌ای با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج واقع در طول جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۵۰ درجه و ۷۵ دقیقه شرقی انجام شد. بافت خاک مزرعه آزمایشی رسی- شنی بود و سال قبل از آزمایش زمین به صورت آیش قرار داشت. در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر، pH خاک ۷/۵، هدایت الکتریکی (EC) آن ۰/۷۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. کربنات کلسیم خاک ۹ درصد، کربن آلی ۰/۵۰ درصد، نیتروژن کل ۰/۰۵ درصد، فسفر قابل جذب ۸/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و پتاسیم قابل جذب ۲۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. میزان رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه حدود ۲۷ درصد وزنی و جرم مخصوص ظاهری خاک ۱/۳۶ گرم بر سانتی‌مترمکعب بود.

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۹۳-۱۳۹۲) اجرا شد. تیمار آبیاری به عنوان عامل اصلی (A) در سه سطح، شامل آبیاری معمول یا بدون تنش (آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A)، تنش ملایم (آبیاری معمول تا زمان گلدهی ادامه یافت و بعد از گل‌دهی آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از

سطح تشتک انجام شد و این رژیم آبیاری تا زمان برداشت ادامه یافت) و تنش شدید (آبیاری معمول تا زمان گلدهی ادامه داشت و بعد از گل‌دهی آبیاری تا پایان فصل و یا زمان برداشت قطع شد). ژنوتیپ‌ها به عنوان عامل فرعی (B) در پنج سطح شامل ارقام کیمیا و سپیده و لاین‌های امیدبخش KGS15، KGS23 و KGS32 بودند. هر کرت آزمایشی شامل شش خط به طول ۵ متر با فاصله ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خط ۱۰ سانتی‌متر بود. میزان کود فسفات آمونیوم ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره در زمان کاشت (نیمه دوم اردیبهشت ماه) و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره به عنوان سرک در مرحله ۸- ۶ برگی، بر اساس آزمون خاک اعمال شد. در طول فصل زراعی (مراحل رویشی و زایشی) از صفات مهم زراعی شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه، طول خوشه، تعداد انشعاب خوشه، علوفه ترو عملکرد بیولوژیک یادداشت‌برداری به عمل آمد. این اندازه‌گیری‌ها به صورت تصادفی از پنج بوته در هر کرت فرعی انجام شد. با حذف دو خط کناری و نیم‌متر از ابتدا و انتهای هرخط، دو خط وسطی به مساحت ۴/۸ مترمربع جهت برآورد عملکرد دانه برداشت شد. بعد از برداشت عملکرد دانه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در خوشه نیز تعیین شد. پس از ثبت داده‌ها، ابتدا مفروضات تجزیه واریانس آزمون شدند و پس از اطمینان از برقراری مفروضات تجزیه واریانس داده‌ها به صورت مرکب در دوسال انجام شد. مقایسه میانگین با استفاده از روش توکی در سطح احتمال ۵ درصد و تجزیه واریانس و همبستگی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و SPSS انجام شد. با استفاده از عملکرد ارقام در شرایط نرمال (Yp)، شرایط تنش (Ys) و میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در شرایط مطلوب $\overline{Y}$ (P) ، شاخص‌های کمی تحمل و حساسیت به تنش به شرح زیر محاسبه شدند:

| | | | |
|---|---|---|---|
| شاخص حساسیت به تنش | $SSI = [1-(Ys/Yp)]/SI$ | (Fisher and Maurer, 1978) | فیشر و مائورر |
| شدت تنش | $SI = 1- (\overline{Ys}/\overline{Yp})$ | (Fisher and Maurer, 1978) | فیشر و مائورر |
| شاخص تحمل | $TOL = Yp-Ys$ | (Rosielle and Hambline, 1981) | روزیلی و هامبلین |
| شاخص تحمل به تنش | $STI = (Yp \times Ys)/(\overline{Yp})^2$ | (Fernandez, 1992) | فرناندز |
| شاخص میانگین بهره‌وری | $MP = (Yp+Ys)/2$ | (Rosielle and Hambline, 1981) | روزیلی و هامبلین |
| میانگین هندسی بهره‌وری | $GMP= \sqrt{(Yp \times Ys)}$ | (Fernandez, 1992) | فرناندز |
| شاخص عملکرد | $YI = (Ys/\overline{Ys})$ | (Gavazzi *et al.,* 1997) | گاوازی و همکاران |
| شاخص پایداری عملکرد | $YSI = Ys/Yp$ | (Bouslama and Schapaugh, 1984) | بوسلاما و اسکاپاق |
| درصد کاهش | $\% Reduction = [(Yp-Ys)/Yp] \times 100$ | (Choukan *et al*., 2006) | چوکان و همکاران |

که در این رابطه:

Ys: Yield in Stress Condition — عملکرد تنش
Yp: Yield Potentiol — عملکرد پتانسیل
SI : Stress Index — شدت تنش

هستند.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی همراه با رسم نمودار بای‌پلات با استفاده از شاخص‌ها ی انتخاب در شناسایی ارقام متحمل به خشکی انجام شد.

## نتایج و بحث

### عملکرد و صفات زراعی

تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه و صفات اندازه‌گیری شده نشان داد که اثر سال (تصادفی) برای صفات عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در خوشه، وزن علوفه تر، عملکرد بیولوژیک و ارتفاع بوته در سطح احتمال یک در صد و برای تعداد انشعاب خوشه در سطح احتمال ۵ در صد اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۱). عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت تأثیر عوامل ناشی از اثر سال قرار گرفتند. این نکته طبیعی است، چون صفت فوق ناشی از تأثیر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل آن‌ها است. معنی‌دار بودن اثر سال نشان دهنده عدم همسانی شرایط محیطی طی دو سال انجام آزمایش بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها برای صفت عملکرد دانه نشان داد که عملکرد در سال اول بیشتر از سال دوم بود (جدول ۲). نتایج حاصل از سال اول و دوم اجرای آزمایش بیانگر وجود اختلافات معنی‌دار بین رژیم‌های آبیاری برای صفت عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۷۹۸۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار رژیم آبیاری بدون تنش و کمترین آن در تیمار آبیاری با تنش شدید با متوسط عملکرد دانه ۶۰۶۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۲). برای عملکرد دانه آب مهم‌ترین عامل محدودکننده است، با کاهش میزان آب عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند. اثر تنش آب بر عملکرد چند جانبه است و تنش شدید و نسبتاً کوتاه در طول دوره رشد رویشی ممکن است اثری روی عملکرد نداشته باشد ولی تنش کمتر از این میزان ولی طولانی مدت ممکن است باعث کاهش شدید عملکرد شود (Ariy, 1989). بین ارقام و لاین‌ها از نظر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین عملکرد دانه نشان داد که رقم کیمیا و لاین KGS23 به ترتیب با ۷۸۷۱ و ۷۵۷۱ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه بیشتری را به خود اختصاص دادند و در یک گروه قرار گرفتند، رقم سپیده و لاین KGS15 به ترتیب با ۷۱۰۵ و ۶۷۶۹ کیلوگرم در هکتار در گروه دوم بودند و لاین KGS32 با عملکرد دانه ۵۶۸۹ کیلوگرم در رتبه آخر قرار گرفت (جدول ۲). به نظر می‌رسد مصرف متعادل آب طی مراحل مختلف نمو در تیمار آبیاری معمول منجر به بهبود عملکرد دانه شد. همچنین بهره‌مندی بیشتر از امکانات محیطی در شاهد با افزایش طول رسیدگی در ارتقاء کمی و کیفی محصول نقش به سزائی داشته باشد

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) صفات مختلف ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای در رژیم‌های مختلف آبیاری در دو سال

Table 1. Combined analysis of variance of different traits of grain sorghum genotypes in different irrigation regions in two years

| S.O.V. | منبع تغییرات | درجه آزادی df. | ارتفاع بوته Plant height | طول خوشه Panicle length | تعداد انشعاب خوشه Shoot no./panicle | قطر ساقه Stem diameter | وزن خوشه Panicle weight | وزن علوفه تر Fresh fodder | عملکرد بیولوژیک Biological yield | تعداد دانه در خوشه Grain no./panicle | وزن هزاردانه 1000-grain weight | عملکرد دانه Grain yield |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year (Y) | سال | 1 | 4623.93$^{**}$ | 25.20$^{ns}$ | 1134.94$^{*}$ | 0.04$^{ns}$ | 1.56$^{ns}$ | 2027.40$^{**}$ | 2141.33$^{**}$ | 791.76$^{**}$ | 177.24$^{**}$ | 47352.78$^{**}$ |
| Replication (Year) | تکرار در سال | 4 | 40.90 | 9.81 | 252.36 | 0.11 | 8.77 | 49.01 | 88.78 | 7.77 | 27.11 | 202.74 |
| Irrigation regime (IR) | رژیم آبیاری | 2 | 77.12$^{ns}$ | 4.12$^{ns}$ | 44.92$^{ns}$ | 0.14$^{ns}$ | 31.07$^{ns}$ | 394.08$^{**}$ | 644.87$^{**}$ | 3.79$^{*}$ | 34.57$^{*}$ | 275667.18$^{**}$ |
| Y×IR | سال× آبیاری | 2 | 36.83$^{ns}$ | 10.92$^{ns}$ | 75.48$^{ns}$ | 0.15$^{ns}$ | 0.79$^{ns}$ | 9.05$^{ns}$ | 13.27$^{ns}$ | 3.77$^{ns}$ | 0.95$^{*}$ | 169.70$^{ns}$ |
| Error a | خطای الف | 8 | 40.30 | 9.23 | 143.42 | 0.09 | 14.06 | 18.05 | 59.58 | 9.43 | 10.98 | 568.77 |
| Cultivars (C) | ارقام | 4 | 4585.91$^{**}$ | 330.20$^{**}$ | 333.61$^{*}$ | 3.69$^{**}$ | 39.56$^{**}$ | 104.59$^{**}$ | 88.05$^{**}$ | 47.94$^{**}$ | 405.01$^{**}$ | 12901.64$^{**}$ |
| Y×C | ارقام × سال | 4 | 126.35$^{**}$ | 20.83$^{**}$ | 496.27$^{**}$ | 0.22$^{*}$ | 7.09$^{*}$ | 7.91$^{*}$ | 17.52$^{*}$ | 40.63$^{**}$ | 4.82$^{ns}$ | 1513.28$^{**}$ |
| IR×C | ارقام × رژیم آبیاری | 8 | 39.80$^{ns}$ | 4.91$^{ns}$ | 33.04$^{ns}$ | 0.04$^{ns}$ | 2.91$^{ns}$ | 3.42$^{ns}$ | 11.08$^{ns}$ | 7.15$^{ns}$ | 10.16$^{ns}$ | 514.55$^{**}$ |
| C×Y×IR | ارقام× سال ×رژیم آبیاری | 8 | 48.71$^{ns}$ | 4.60$^{ns}$ | 22.95$^{ns}$ | 0.05$^{ns}$ | 4.13$^{ns}$ | 4.85$^{ns}$ | 16.79$^{*}$ | 6.63$^{ns}$ | 7.28$^{ns}$ | 880.39$^{*}$ |
| Error b | خطای ب | 48 | 24.00 | 2.80$^{ns}$ | 97.01$^{ns}$ | 0.07$^{ns}$ | 2.02$^{ns}$ | 2.81 | 6.64 | 4.60 | 6.51 | 368.07 |
| C.V. (%) | درصد ضریب تغییرات | - | 4.30 | 6.00 | 17.24 | 14.22 | 12.65 | 11.20 | 9.84 | 18.03 | 8.52 | 8.67 |

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

ns, * and **: Not significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین دو ساله صفات مختلف ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای در رژیم‌های مختلف آبیاری و اثر متقابل آن‌ها

Table 2. Two years mean comparison of different traits of grain sorghum genotypes in different irrigation regimes and their interactions

| تیمار<br>Treatment | | ارتفاع بوته<br>Plant height | طول خوشه<br>Panicle length | تعداد انشعاب خوشه<br>Shoot no./panicle | قطر ساقه<br>Stem diameter | وزن خوشه<br>Panicle Weight ($t\ ha^{-1}$) | وزن علوفه تر<br>Fresh Fodder ($t\ ha^{-1}$) | عملکرد بیولوژیک<br>Biological Yield ($t\ ha^{-1}$) | تعداد دانه در خوشه<br>Grain no./ panicle | وزن هزاردانه<br>1000-grain weight (g) | عملکرد دانه<br>Grain Yield ($kg\ ha^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Year** | **سال** | | | | | | | | | | |
| Y1 | سال۱ | 122.1 | 27.33 | 60.66 | 1.77 | 11.09 | 17.42 | 28.31 | 3822.11 | 31.36 | 7726.23 |
| Y2 | سال۲ | 107.7 | 28.39 | 53.56 | 1.81 | 11.36 | 19.72 | 31.08 | 4696.99 | 28.56 | 6275.52 |
| **Irrigation regime** | **رژیم آبیاری** | | | | | | | | | | |
| Normal Irrigation | بدون تنش | 115.8a | 28.0a | 58.14a | 1.87a | 12.07a | 18.32a | 30.39a | 3696.0a | 31.04a | 7980.0a |
| Mild water stress | تنش ملایم | 113.1a | 28.2a | 55.76a | 1.74a | 11.50a | 15.48b | 26.99a | 3695.0a | 29.94ab | 6958.0b |
| Severe water stress | تنش شدید | 115.9a | 27.4a | 57.43a | 1.77a | 10.10a | 11.12c | 21.22b | 3390.0b | 28.89b | 6064.0c |
| **Cultivars** | **ارقام** | | | | | | | | | | |
| Kimiya | کیمیا | 107.7c | 27.4d | 56.49ab | 2.45a | 12.08ab | 17.47a | 29.56a | 3611.0b | 36.28a | 7871.0a |
| Sepide | سپیده | 127.5b | 30.4b | 61.56a | 1.40c | 12.31a | 12.32c | 24.64c | 4135.0a | 29.04d | 7105.0b |
| KGS15 | | 110.7c | 29.1c | 54.94ab | 2.07b | 11.17b | 16.15b | 27.32b | 4104.0a | 28.09b | 6769.0b |
| KGS23 | | 94.5d | 20.8e | 51.38b | 1.49c | 11.87ab | 12.45c | 24.32c | 4033.0ab | 32.36d | 7571.0a |
| KGS32 | | 134.3a | 31.7a | 61.17a | 1.54c | 8.68c | 16.48ab | 25.16c | 2917.0c | 29.69c | 5689.0c |

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪ هستند.

Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% propability level.

سطوح آبیاری عبارت بودند از آبیاری بدون تنش آبی (آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، تنش آبی ملایم و شدید (به ترتیب به صورت آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و قطع کامل آبیاری پس از گلدهی).

Water treatments were: irrigation after 60 mm evaporation (normal irrigation), normal irrigation till flowering and then irrigation after 120 mm evaporation (mild water stress), and water withholding after flowering (severe water stress).

Table 2. Continued

ادامه جدول ۲

| تیمار Treatment | | ارتفاع بوته Plant height | طول خوشه Panicle length | تعداد انشعاب خوشه Shoot no./panicle | قطر ساقه Stem diameter | وزن خوشه Panicle Weight (t ha$^{-1}$) | وزن علوفه تر Fresh Fodder (t ha$^{-1}$) | عملکرد بیولوژیک Biological Yield (t ha$^{-1}$) | تعداد دانه در خوشه Grain no./ panicle | وزن هزاردانه 1000-grain weight (g) | عملکرد دانه Grain Yield (kg ha$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ارقام × رژیم آبیاری Cultivars × Irrigation** | | | | | | | | | | | |
| بدون تنش Nornal irrigation | Kimiya | 108.9fg | 27.8ef | 54.82ab | 2.50a | 12.85ab | 21.40a | 34.25a | 3349.0b | 37.18a | 9163.0a |
| | Sepide | 127.6cd | 29.7bc | 61.23ab | 1.37c | 12.27ab | 15.04ef | 27.31de | 3792.0a | 28.85cd | 7974.0bc |
| | KGS15 | 114.9e | 30.3ab | 54.72ab | 2.25ab | 12.09ab | 19.04bc | 31.13ab | 3233.0a | 33.52b | 7400.0cd |
| | KGS23 | 93.7 h | 20.4g | 55.15ab | 1.58c | 13.35a | 15.77e | 29.12bc | 4142.0a | 29.07e | 8522.0ab |
| | KGS32 | 133.9ab | 31.7ab | 64.78a | 1.64c | 9.81ef | 20.34ab | 30.14bc | 2962.0c | 30.08c | 6843.0de |
| | Kimiya | 105.7fg | 27.7ef | 56.50ab | 2.36a | 13.09ab | 18.33bc | 31.41ab | 3317.0b | 36.65a | 7805.0bc |
| | Sepide | 126.3d | 31.9a | 59.67ab | 1.47c | 12.99abc | 13.23fg | 26.22ef | 3793.0a | 23.47e | 7194.0cd |
| تنش ملایم Mild water stress | KGS15 | 105.3g | 28.3de | 54.05ab | 1.98b | 11.29bc | 16.70de | 28.00cd | 3169.0a | 33.35b | 6563.0ef |
| | KGS23 | 92.0h | 20.6g | 48.67c | 1.42c | 11.15cd | 12.07g | 23.22fg | 4087.0ab | 26.02de | 7612.0c |
| | KGS32 | 135.9a | 32.3a | 59.90ab | 1.46c | 9.10f | 17.08cd | 26.08ef | 2908.0cd | 28.22c | 5615.0g |
| | Kimiya | 108.3fg | 26.6f | 58.15ab | 2.50a | 10.32de | 12.69g | 23.01fg | 3367.0ab | 35.02ab | 6644.0de |
| | Sepide | 128.4bc | 29.5cd | 63.77ab | 1.36c | 11.68ab | 8.71h | 20.38gh | 3620.0a | 23.42e | 6147.0fg |
| تنش شدید Severe water stress | KGS15 | 111.7ef | 28.6de | 56.07ab | 1.99b | 10.13ef | 12.69g | 22.82g | 3410.0a | 31.98bc | 6345.0fg |
| | KGS23 | 97.9h | 21.3g | 50.33b | 1.47c | 11.11cd | 9.51h | 20.62gh | 3771.0ab | 25.30e | 6578.0ef |
| | KGS32 | 133.0ab | 31.2ab | 58.83ab | 1.53c | 7.24g | 12.01g | 19.25h | 2682.0d | 28.75cd | 4608.0h |

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪ هستند.

Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% propability level.

سطوح آبیاری عبارت بودند از آبیاری بدون تنش آبی (آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، تنش آبی ملایم و شدید (به ترتیب به صورت آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و قطع کامل آبیاری پس از گلدهی).

Water treatments were: irrigation after 60 mm evaporation (normal irrigation), normal irrigation till flowering and then irrigation after 120 mm evaporation (mild water stress), and water withholding after flowering (severe water stress).

(Roshdi and Rezadost, 2005).

تسریع در گل‌دهی و کوتاه شدن دوره رشد به عنوان یکی از دلایل کاهش عملکرد گیاهی است. در این راستا فراری و فرناندز (Ferrari and Fernandez, 1986) دریافتند که در اثر تنش خشکی در آفتابگردان سطح برگ به سرعت کاهش یافت و تأثیر منفی بر عملکرد دانه داشت. زمان بروز تنش خشکی نیز در نوع و میزان خسارت وارده اثر زیادی دارد. تحقیق انجام شده روی ارزن و سورگوم نشان داد که تنش در مرحله رشد زایشی تا ۵۰ درصد عملکرد دانه را کاهش داد اما بروز تنش در مرحله رشد رویشی در ارزن ۲۵ درصد و در سورگوم ۳۰ درصد عملکرد را پایین آورد (Amjad Ali *et al.*, 2009).

هاسمن و همکاران (Hussman *et al.*, 1998) در بررسی اثر تنش آبی روی هیبریدهای مختلف سورگوم به این نتیجه رسیدند که تنش آبی در اوایل گرده‌افشانی باعث کاهش عملکرد می‌شود. ابولهاشم و همکاران (Abulhashem *et al.*, 1998) نیز اظهار داشتند که عدم آبیاری در مرحله پیدایش و تشگیل گل‌ها و مواجه شدن گیاه با تنش خشکی در این مرحله حتی اگر تنش به صورت جزئی باشد باعث کاهش میزان ظهور سلول‌های بنیادی گل می‌شود و تعداد سنبله در غلات و تعداد غلاف ها در کلزا و سویا کاهش می‌دهد. در تیمار آبیاری با تنش ملایم اختلاف معنی‌داری در صفت تعداد دانه در خوشه با تیمار آبیاری بدون تنش مشاهده نشد اما ادامه قطع آبیاری از مرحله گلدهی تا برداشت محصول تیمار تنش شدید موجب کاهش وزن دانه در مقایسه با تیمار بدون تنش شد (جدول ۲). مصرف آب بیشتر در تیمار بدون تنش منجر به تولید دانه‌های بزرگ‌تر و افزایش وزن هزار دانه نسبت به تنش شدید شد. به نظر می‌رسد وجود آب کافی به خصوص در مرحله دانه‌بندی مانع از بروز رقابت زیاد بر سر جذب مواد فتوسنتزی بین دانه‌ها و اندام رویشی شد. همچنین طولانی شدن مرحله دانه‌بندی و رسیدگی در تیمار بدون تنش منجر به انتقال مواد فتوسنتزی کافی به دانه‌ها و افزایش متوسط وزن دانه شد. در این راستا مظاهری لقب و همکاران (Mazaherilaghab *et al.*, 2001) اظهار داشتند آبیاری در مرحله گل‌دهی بر باروری گلچه‌ها و افزایش تعداد دانه‌ها تأثیر دارد. در حالی‌که در مرحله دانه‌بندی، آبیاری بر افزایش اندوخته غذایی و پر شدن دانه‌ها و در نتیجه افزایش وزن آن‌ها تأثیر می‌گذارد. نارشیما رائو و شیوراج (Narshima Rao and Shivraj, 1998) گزارش کردند که تنش خشکی بعد از گرده‌افشانی در سورگوم دانه‌ای سبب کاهش طول پر شدن دانه می‌شود. همچنین در این مطالعه افزایش اندازه دانه ناشی از کاهش تعداد دانه در خوشه بیان شده است. اولیوفایو و همکاران (Olufayo *et al.*, 1997) در تحقیق خود روی عملکرد سورگوم در

شدت‌های متفاوت تنش و در مراحل مختلف رشد به این نتیجه رسیدند که تعداد خوشه در واحد سطح در زمان خوشه‌دهی تحت تأثیر کم آبی قرار گرفت و کم آبیاری در مرحله پر شدن دانه روی وزن دانه‌ها مؤثر بوده و موجب کاهش آن شد. نتایج مربوطه به اثر سطوح آبیاری برعملکرد بیولوژیک (وزن کل اندام هوایی گیاه) نشان داد که بین سطوح آبیاری از نظر این صفت اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ وجود داشت. آبیاری در تیمار بدون تنش منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک تا ۳۰/۳۹ تن در هکتار شد. کم‌ترین عملکرد بیولوژیک در تیمار تنش شدید با عملکردی معادل ۲۱/۲۲ تن در هکتار به دست آمد (جدول ۲). نتایج مربوط به عملکرد علوفه تر نشان داد که بین سطوح آبیاری برای این صفت نیز اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ وجود داشت. با توجه به مصرف آب بیشتر در تیمار بدون تنش و تأثیر این عامل بر رشد رویشی، حداکثر وزن علوفه تر (۱۸/۳۲ تن در هکتار) در تیمار شاهد به دست آمد. کمبود آب در تیمار تنش شدید منجر به کاهش شدید رشد رویشی (۱۱/۲۲ تن در هکتار) شد (جدول ۲). در مجموع نتایج به دست آمده از این آزمایش نشان داد که اعمال تنش در مرحله رشد زایشی باعث کاهش عملکرد گیاه می‌شود.

**شاخص‌های تحمل به خشکی**

عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yp) و در شرایط تنش (Ys) و شاخص‌های ارزیابی تحمل به خشکی ارقام مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. تیمار آبیاری با تنش ملایم با تیمار آبیاری نرمال اختلاف محسوسی نشان نداد، بنابراین کلیه محاسبات بر اساس تیمار آبیاری با تنش شدید یعنی قطع آبیاری بعد از گل‌دهی انجام شد. هرچه مقدار عددی شاخص SSI کوچک‌تر باشد، حساسیت به تنش کمتر و تحمل نسبی ژنوتیپ به تنش رطوبتی بیشتر است. در این آزمایش، استفاده از شاخص SSI نشان داد که لاین KGS15 با کمترین مقادیر SSI برابر ۰/۵۹متحمل‌ترین ژنوتیب نسبت به شرایط تنش بود (جدول ۳). با استفاده از این شاخص فقط می‌توان ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را بدون توجه به پتانسیل عملکرد آن‌ها مشخص کرد (Naderi *et al.,* 2000).

شاخص SSI براساس نسبت عملکرد هر رقم در شرایط تنش به شرایط بدون تنش در مقایسه با این نسبت در کل ارقام سنجیده می‌شود، بنابراین دو رقم با عملکرد زیاد یا کم در دو محیط می‌توانند مقدار SSI یکسانی داشته باشند، در نتیجه انتخاب براساس SSI مناسب نیست. در این آزمایش لاین KGS15 به عنوان لاین متحمل ارزیابی شد در صورتی که این لاین در شرایط تنش و بدون تنش دارای بیشترین عملکرد دانه نبود. بنابراین لاین KGS15 نه به دلیل تولید عملکرد بالا در شرایط تنش، بلکه فقط به علت پایین بودن درصد تغییر عملکرد، به وسیله این شاخص به عنوان متحمل‌ترین لاین

جدول ۳- برآورد میزان حساسیت یا تحمل ارقام و لاین‌های امید بخش سورگوم دانه‌ای بر اساس شاخص‌های تحمل در شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 3. Estimation of susceptibility or tolerance rate of cultivars and promising lines of grain sorghum based on tolerance indices in non-stress and stress conditions

| رقم | | عملکرد در شرایط نرمال | عملکرد در شرایط تنش | تحمل | میانگین حسابی | میانگین هندسی | حساسیت به تنش | تحمل به تنش | شاخص عملکرد | شاخص پایداری عملکرد | درصد کاهش عملکرد |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cultivar | | Yp (kgha$^{-1}$) | Ys (kgha$^{-1}$) | TOL | MP | GMP | SSI | STI | YI | YSI | %R |
| Kimiya | کیمیا | 9162.51 | 6644.44 | 2518.07 | 7903.48 | 7802.55 | 1.15 | 0.96 | 1.10 | 0.73 | 27 |
| Sepide | سپیده | 7973.61 | 6147.23 | 1826.38 | 7060.42 | 7001.12 | 0.95 | 0.80 | 1.01 | 0.77 | 23 |
| KGS15 | | 7399.99 | 6344.59 | 1055.40 | 6872.29 | 6851.99 | 0.59 | 0.73 | 1.05 | 0.85 | 23 |
| KGS23 | | 8521.95 | 6577.78 | 1944.17 | 7549.87 | 7487.02 | 0.95 | 0.88 | 1.08 | 0.77 | 23 |
| KGS32 | | 6843.06 | 4608.33 | 2234.73 | 5725.70 | 5615.61 | 1.36 | 0.49 | 0.76 | 0.67 | 33 |
| Mean | میانگین | 7980.22 | 6064.47 | 1915.75 | 7022.35 | 6951.66 | 1.00 | 0.77 | 1.00 | 0.76 | 25.80 |

Ys: Yield in Stress Condition
Yp: Yield Potentiol
GMP: Geometric Mean Productivity
YI : Yield Index
TOL: Tolerance Index
SI : Stress Index

STI: Stress Tolerance Index
YSI : Yield Stability Index
MP : Mean Productivity
% R: Reduction
SSI : Stress Suscecpibility Index

شناسائی شد. رقم کیمیا و لاین KGS23 با وجود عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش به عنوان ارقام متحمل ارزیابی نشدند. از مطالعه شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI) و تحمل (TOL) چنین استنباط می‌شود که ارقامی که از عملکرد بالایی برخوردار بودند، تحمل مطلوبی به تنش خشکی نشان ندادند، از نظر این شاخص‌ها رقم کیمیا و لاین KGS23 حساس‌ترین بودند و لاین KGS15 و رقم سپیده از تحمل بیشتری برخوردار بودند (جدول ۳). ژنوتیپ‌هایی که توسط شاخص TOL به عنوان ارقام متحمل به تنش شناسایی شدند از نظر میزان عملکرد تولیدی در شرایط بدون تنش و تنش در پایین‌ترین رتبه‌ها قرار داشتند (جدول ۳). ارقامی که دارای شاخص TOL کمتری هستند در محیط تنش تغییر عملکرد کمتری از خود نشان می‌دهند. مسئله دیگر در مورد این شاخص آن است که پایین بودن شاخص TOL الزاماً به معنای بالا بودن عملکرد رقم در محیط بدون تنش نیست چون ممکن است عملکرد رقمی در شرایط عادی پایین باشد و در شرایط تنش نیز با افت عملکرد کمتری همراه باشد، که باعث کوچک شدن شاخص TOL شود و در نتیجه این رقم به عنوان رقم متحمل معرفی شود (Moghaddam and Hadizade, 2002). بنابراین مشخص می‌شود که شاخص TOL در گزینش ژنوتیپ‌های دارای عملکرد دانه بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی موفق نبوده و گزینش را به‌سوی ژنوتیپ‌های کم بازده و متحمل سوق می‌دهد. از نظر شاخص STI و GMP که مقادیر بالای آن‌ها، نشان‌دهنده تحمل ارقام می‌باشد، لاین KGS23 و رقم کیمیا به ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۸۵۲۱/۹۵ و ۹۱۶۲/۵۱ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان ارقام متحمل تعیین شدند (جدول ۳). در این آزمایش شاخص MP نیز لاین KGS23 و رقم کیمیا را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش معرفی کرد (جدول ۳). در شاخص پایداری عملکرد (YSI) مقادیر عددی بیشتر از واحد، حساسیت ژنوتیپ و ضعف پایداری عملکرد در شرایط تنش را نشان می‌دهد (Eberhart and Russell, 1966).

ژنوتیپی که توسط شاخص YSI به عنوان رقمی با پایداری بالای عملکرد در شرایط تنش شناسایی می‌شود، از پایین‌ترین میزان تغییر و یا کاهش عملکرد برخوردار است. به عنوان مثال ، در این آزمایش لاین KGS15 از نظر شاخص YSI در رتبه بالاتر نسبت به سایر ژنوتیب‌ها قرار گرفت. لاین KGS32 و رقم کیمیا از نظر این شاخص، به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی که دارای پایین‌ترین میزان پایداری عملکرد یا به عبارتی بیشترین درصد کاهش عملکرد بودند، معرفی شدند که نشان‌دهنده حساسیت بالای این ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش است (جدول ۳). شاخص YI رقم کیمیا و لاین KGS23 را به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با بالاترین میزان عملکرد در محیط تنش شناسایی کرد. ژنوتیپ‌های کیمیا و KGS23 در هر دو محیط تنش و بدون تنش

دارای عملکرد بالا بودند بنابراین می‌توان نتیجه گرفت این شاخص دارای توانایی لازم برای انتخاب ارقام با عملکرد بالا در هر دو محیط است (جدول ۳).

فرشادفر و همکاران (Farshadfar *et al*., 2001) بر این اعتقادند که مناسب‌ترین شاخص برای گزینش ارقام متحمل به تنش، شاخصی است که دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش باشد. همبستگی بین شاخص‌های ذکر شده و عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش در جدول ۴ درج شده است. بیشترین میزان ضریب همبستگی بین شاخص‌های تحمل در شرایط بدون تنش مربوط به شاخص‌های MP، GMP و STI به ترتیب با مقادیر ۰/۹۵، ۰/۹۴ و ۰/۹۶ بود که مثبت و از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بودند. در شرایط تنش شاخص‌های GMP، MP و STI دارای ضریب همبستگی با مقادیر ۹۶/، ۰/۹۵ و ۰/۹۴ با عملکرد دانه بودند که مثبت و از نظر آماری در سطح۵ درصد معنی‌دار بودند. شاخص عملکرد (YI) دارای بالاترین همستگی مثبت با عملکرد دانه در شرایط تنش بود (r = ۱) و در شرایط بدون تنش نیز همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه داشت (r = ۰/۸۱)، بنابراین شاخص مناسبی برای انتخاب ارقام در هر دو شرایط بدون تنش و تنش است. بر اساس نظر فرنانـدز (Fernandez, 1992) بهترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌ها، شاخص‌های STI و GMP هستند، چون قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی هستند که در هردو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی تولید می‌کنند. نتایج حاصل از بررسی همبستگی عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و بدون تنش با شاخص‌های تحمل به خشکی در این پژوهش نشان داد که شاخص‌های MP، GMP و STI بهترین شاخص‌ها برای گزینش و تعیین ارقام متحمل به تنش خشکی ارقام سورگوم دانه‌ای بودند که با گزارش شفازاده و همکاران (Shafazadeh *et al*., 2004) که شاخص‌های ذکر شده را به واسطه دارا بودن همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی پس از مرحله گل‌دهی، به عنوان معیارهای مناسب برای شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول و متحمل به خشکی برای هر دو شرایط معرفی کردند، کاملاً همسانی دارد. درصورت استفاده از بیش از سه متغییر (شاخص‌ها و عملکرد در شرایط تنش و غیر تنش) به کارگیری بای‌پلات که در حقیقت یک نمایش هندسی چند متغییره است ابزار سودمندی خواهد بود. با توجه به جدول ۳ می‌توان روابط بین ارقام و شاخص‌ها را به صورت یک شکل واحد (بای پلات) ترسیم کرد و ساختار چنین ماتریس بزرگ دو طرفه را مورد مطالعه قرار داد. نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی روی شاخص‌ها وعملکرد در شرایط نرمال و تنش در پنج رقم، نشان داد که دو مؤلفه اول با داشتن مقادیر ویژه بزرگ‌تر از

جدول ۴- ضرایب همبستگی ساده بین شاخص‌های تحمل و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش

Table 4. Correlation coefficients between tolerance indices and Yp and Ys in non-stress and drought stress conditions

| شاخص‌ها<br>Indices | عملکرد در شرایط نرمال | عملکرد در شرایط تنش | تحمل<br>TOL | میانگین حسابی<br>MP | میانگین هندسی<br>GMP | حساسیت به تنش<br>SSI | تحمل به تنش<br>STI | شاخص عملکرد<br>YI | شاخص پایداری عملکرد<br>YSI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ys ($kg\ ha^{-1}$) | 0.81$^{ns}$ | | | | | | | | |
| TOL | 0.43$^{ns}$ | -0.19$^{ns}$ | | | | | | | |
| MP | 0.95$^{*}$ | 0.95$^{*}$ | 0.14$^{ns}$ | | | | | | |
| GMP | 0.94$^{*}$ | 0.96$^{*}$ | 0.10$^{ns}$ | 1.00$^{**}$ | | | | | |
| SSI | -0.20$^{ns}$ | -0.61$^{ns}$ | 0.89$^{*}$ | -0.32$^{ns}$ | -0.36$^{ns}$ | | | | |
| STI | 0.96$^{*}$ | 0.94$^{*}$ | 0.15$^{ns}$ | 1.00$^{**}$ | 1.00$^{**}$ | -0.31$^{ns}$ | | | |
| YI | 0.81$^{ns}$ | 1.00$^{**}$ | -0.19$^{ns}$ | 0.95$^{*}$ | 0.96$^{*}$ | -0.61$^{ns}$ | 0.94$^{*}$ | | |
| YSI | 0.08$^{ns}$ | 0.66$^{ns}$ | -0.86$^{ns}$ | 0.38$^{ns}$ | 0.42$^{ns}$ | -1.00$^{**}$ | 0.37$^{ns}$ | 0.66$^{ns}$ | |
| %R | -0.42$^{ns}$ | -0.83$^{ns}$ | 0.58$^{ns}$ | -0.65$^{ns}$ | -0.68$^{ns}$ | 0.84$^{ns}$ | -0.66$^{ns}$ | -0.83$^{ns}$ | -0.86$^{ns}$ |

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

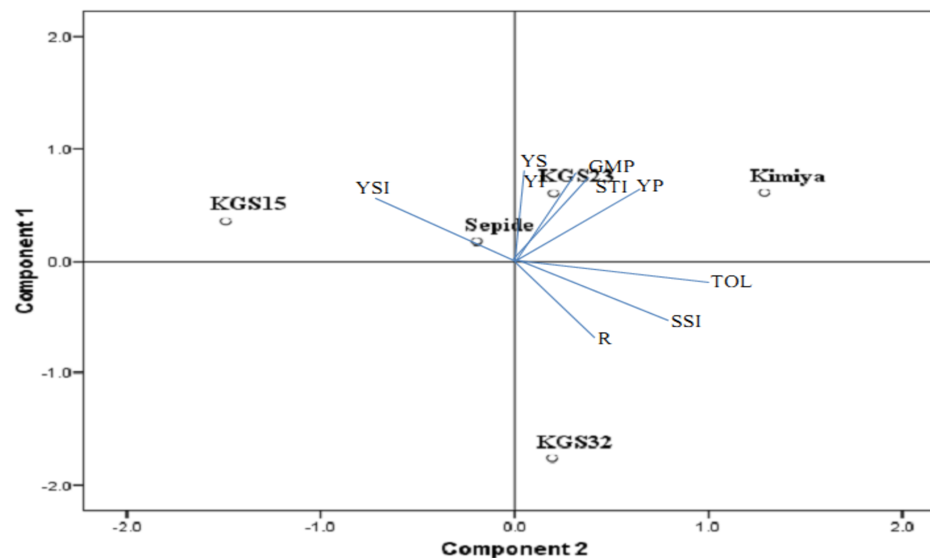
ns, * and **: Not significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

Ys: Yield in Stress Condition
Yp: Yield Potentiol
GMP: Geometric Mean Productivity
YI : Yield Index
TOL: Tolerance Index
SI : Stress Index
STI: Stress Tolerance Index
YSI : Yield Stability Index
MP : Mean Productivity
% R: Reduction
SSI : Stress Suscecpibility Index

جدول ۵- بردارها و مقادیر ویژه برای شاخص‌های تحمل به خشکی در ارقام و لاین‌های امیدبخش سورگوم دانه‌ای

Table 5. Vectors and eigenvalues for tolerance indices in cultivars and promising lines of grain sorghum

| مؤلفه<br>Component | مقادیر ویژه<br>Eigenvalues | سهم تجمعی<br>Cumulative | عملکرد در شرایط نرمال<br>Yp (kgha$^{-1}$) | عملکرد در شرایط تنش<br>Ys (kgha$^{-1}$) | تحمل<br>TOL | میانگین حسابی<br>MP | میانگین هندسی<br>GMP | حساسیت به تنش<br>SSI | تحمل به تنش<br>STI | شاخص عملکرد<br>YI | شاخص پایداری عملکرد<br>YSI | درصد کاهش عملکرد<br>%R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 6.897 | 68.965 | 0.780 | 0.998 | -0.227 | 0.931 | 0.946 | -0.638 | 0.928 | 0.997 | 0.685 | -0.864 |
| 2 | 2.990 | 98.867 | 0.625 | 0.040 | 0.973 | 0.363 | 0.324 | 0.766 | 0.371 | 0.040 | -0.724 | 0.405 |




شکل ۱- نمایش بای پلات شاخص‌های تحمل به خشکی در ارقام و لاین‌های امیدبخش سورگوم دانه‌ای بر اساس مؤلفه‌های اول و دوم

Fig. 1. Graph of biplot for tolerance indices in cultivars and promising lines of grain sorghum based on the first and second components

یک، در مجموع۹۸/۸۷ ٪ از تغییرات کل داده‌ها را بیان کردند (جدول ۵). ترسیم بای‌پلات بر اساس این دو مؤلفه انجام شد (شکل ۱). با توجه به این که مؤلفه اول تغییراتی را در بر می‌گیرد که توسط مؤلفه دوم تبیین نمی‌شود و بالعکس، لذا می‌توان تغییرات دو مؤلفه را به صورت عمود بر هم نمایش داد. مؤلفه اول که ۶۸/۹۶٪ از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و همبستگی مثبت و بالایی با Ys، Yp،MP، GMP و STI داشت به نام مؤلفه پتانسیل و پایداری عملکرد وتحمل به خشکی نام‌گذاری شد. با توجه به این که میزان بالای این شاخص‌ها مطلوب است، بنابراین در بای‌پلات حاصله اگر به مقادیر مثبت و بالای این مؤلفه توجه شود، می‌توان ارقامی که دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و غیر تنش و شاخص‌های MP، GMP و STI بالا هستند را انتخاب کرد. مؤلفه دوم ۲۹/۹۰٪ از تغییرات کل داده‌ها را بیان کرد و همبستگی منفی و بالا با Ys و همبستگی مثبت و بالا با TOL و SSI و تا حدودی با Yp داشت و مؤلفه حساسیت به تنش خشکی و پایداری عملکرد نام‌گذاری شد. مؤلفه دوم می‌تواند ارقامی با پایداری عملکرد پایین و پتانسیل عملکرد متوسط و مقادیر کم شاخص‌های TOL و SSI را انتخاب کند (شکل ۱). رقم کیمیا و لاینKGS23 در ناحیه پتانسیل و پایداری عملکرد به خشکی (سمت راست شکل ۱) و لاین KGS32 در ناحیه حساسیت به تنش خشکی و عملکرد پایین (سمت راست پایین شکل ۱) قرار گرفت، این نشان دهنده تفاوت ژنتیکی ارقام نسبت به خشکی است.

با توجه به نتایج حاصله از تجزیه بای پلات و شاخص‌های برترMP، GMP و STI رقم کیمیا و لاین KGS23 به عنوان ارقام متحمل، رقم سپیده و لاین KGS15 به عنوان ارقام نیمه متحمل و لاین  KGS32 به عنوان لاین حساس با عملکرد پایین ارزیابی شدند.

## References


**Abulhashem, M., Aminmajudar, N., Hamid, A., and Hossain, M. 1998.** Drought stress on seed yield attributes growth, cell membrane stability and gus change of synthesized *Brassica napus*. Agronomy Journal 180: 129-136.

**Amjad Ali, M., Abbas, A., Niaz, S., Zulkiffal, M., and Ali S. 2009.** Morpho-physiological criteria for drought tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor*) at seedling and post-anthesis Ssages. International Journal of Agricultural Biotechnology 11: 674-680.

**Anonymous 2013.** FAO Data Based [online]. Available at: http://faostat.fao.org.

**Ariy, J. M. 1986.** Corn and Corn Improvement. Academic Press Inc., New York, USA. 721 pp.

**Bouslama, M., and Schapaugh, W. T. 1984.** Stress tolerance in soybeans. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science 24: 933-937.

**Chassemi, F. 1995.** Stalinization of land and water resources. PhD Thesis, University of New South Wales, Australia.

**Choukan, R., Taherkhani, T., Channadha, M. R., and Khodarahmi, M. 2006.** Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines usines drought tolerance indices. Iranian Journal of Agricaltural Sciences 8(1): 79-89 (in Persian).

**Clarke, J. M., and McCaig, T. N. 1982.** Evaluation of techniques for screening for drought resistance in wheat. Crop Science 22: 503-506.

**Eberhart, S. A., and Russell, W. A. 1966** . Stability paramenters for comparing variaties. Crop Science 6: 36-40.

**Ehdaei, B**. 2004. Plant Breeding. Shahid Chamran University Press, Ahvaz, Iran (in Persian).

**Farshadfar, E. A., Zamani, M. R., Matlabi, M., and Emam-jome, E. E. 2001.** Selection for drought resistance chick pea lines. Iranian Journal of Agricaltural Sciences 32(1): 65-77 (in Persian).

**Fernandez, G. C. 1992 .** Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C. G. (ed.) Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Croops in Temperature and Water Stress AVRDC, Publication, Shanbua, Taiwan.

**Ferrari, E., and Fernandez, J. M. 1986.** Genetic variability in sunflower and soybean under drought. 1. Yield relationships. Australian Journal of Agricultural Research 37: 573-583.

**Fischer, R. A., and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. Part1: Grain yield response. Australian Journal of Agricultural Research 29: 897-912.

**Gavazzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi, G. L., and Borghi, B. 1997.** Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science 77: 523-531.

**Hussman, B**., **Obilana, A., Blum, A., Ayiecho, P., and Schipperack, W. 1998.** Hybrid performance of sorghum and its relationship to morphological and physiological traits under variable drought stress. Plant Breeding 117: 223-229.

**Kardovani, P. 1997.** Arid Zone (Vol.1). University of Tehran Publications, Tehran, Iran (in Persian).

**Mazaherilaghab, H., Nori, F., Zare- Abyane, H., and Vafaei, H. 2001.** Effect of final irrigation on important traits of three varieties of sunflower in dry land farming. Iranian Journal of Agricultural Research 1: 41-44 (in Persian).

**Mitra, J. 2001**. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. Current Science 80: 758-763.

**Moghaddam, A., and Hadizade, M. H. 2002.** Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. Seed and Plant 18(3): 255-272 (in Persian).

**Mozafari, K., Arshi, Y., and Zynali – Khanegha, H. 1996.** Effect of drought stress on some morphological traits and yield componenets of sunflower. Seed and Plant 12(4): 24-32 (in Persian).

**Naderi, A., Majidi-Hervan, E., Hashemi-Dezfoli, A., Rezaei, A., and Nourmohammadi, G. 2000.** Efficiency analysis of indices for tolerance to environmental stresses in field crops and introduction of a new index. Seed and Plant 15(4): 390-402 (in Persian).

**Narshima Rao, C. L., and Shivraj, A. 1998.** Effect of water stress on grain growth of glossy and non glossy varieties of grain sorghum. Indian Journal of Agricultural Science 58: 770-773.

**Nour-Mohamadi, G., Siadat, A., and Kashni, A. 2007.** Agronomy (Cereal Crops). Shahid Chamran University Press, Ahvaz, Iran (in Persian).

**Olufayo, A.**, **Ruelle, P., Buldy, C., and Aidaou, A. 1997.** Biomass of sorghum under variable water regime. Biomass and Bioenergy 12: 383-387.

**Rahnema, A. 2003.** Evaluation of drought stress in different stages of growth and its effect on yield, yield components and qualitative traits of corn in Karaj area. MSc. Thesis, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran (in Persian).

**Roshdi, M., and Rezadost, S. 2005.** Study of different irrigation levels on qualitative and quantities traits of sunflower. Iranian Journal of Agricultural Sciences and Natural Resource 46 (5): 1241-1250 (in Persian).

**Rosielle, A. T., and Hamblin, J. 1981**. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science 21: 943-945.

**Shafazadeh, M. K., Yazdansepas, A., Amini, A., and Ghannadha, M. R. 2004**. Study of terminal drought tolerance in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. Seed and Plant 20 (1): 57-71 (in Persian).

**Yadav, R. S., Hash, C. T., Bidinger, F. R., and Howarth, C. J. 1999.** Identification and utilization of quantitative trait loci to improve terminal drought tolerance in pearl millet *(Pennisetum glaucum* L.). CIMMYT Workshop on Molecular Approaches for the Genetic Improvement of Cereals for Stable Production in Water – Limited Environments. CIMMYT, Mexico, D. F., Mexico.